

2 計測概要

2.1 計測地概要

計測対象となるため池は、下流堤防が湾曲形状を呈している個所を選定した。補修・補強工事も予定しており、図-1に示すとおり、傾斜遮水ゾーン型の堤長 $L=87.3\text{m}$ となる堤体である。

2.2 計測概要

計測には地上3次元レーザー、ドローン2基を使用した。計測器の性能や計測より得られる特徴を表-1に示す。ドローンによる計測は、写真をオルソ画像化するため、測量時の基準点に加え標定点・検証点を図-2のように配置する。標定点・検証点は、作成する3次元点群が適切な精度を持てる範囲で設置点数を決定・配置し、精度は4級基準点測量の規定を準用したGNSS測量を実施した。

表-1 計測機器比較表

計測種類 呼称	地上計測 地上レーザー	写真計測 ドローン1	写真計測 ドローン2
写真			
計測方法	中心に位置する狭角カメラからパルス方式の赤外線（クラス3）を構造物に照射し、広角カメラで画像を撮影し、点に色彩情報を与える仕組みとなっている。	ドローンにカメラを搭載して写真撮影を行い、オルソ画像を作成する。オルソ画像とは、標高データを用いてこの像の歪みをなくし、真上から見たような傾きのない画像に変換し、位置情報を付与したものである。	ドローンに搭載している4Kカメラで写真撮影を行い、オルソ画像を作成する。オルソ画像とは、標高データを用いてこの像の歪みをなくし、真上から見たような傾きのない画像に変換し、位置情報を付与したものである。
三次元モデルへの移行	専用ソフトにより、点群を結合およびカラーマッピングを容易に作成できる。	専用ソフトにより、写真から点群作成し、オルソ画像化（歪み補正）する。	同左
計測性能	150mまでは誤差3.5mmである。国土交通省が写真測量に求める精度のため、30m内に1測点で計測した。	飛行高度50m時、地上画素寸法：1.2cm/画素（地上画素寸法：10cm/画素以内が国土交通省が写真測量に求める精度）	飛行高度30m時、地上画素寸法：2cm/画素（地上画素寸法：10cm/画素以内が国土交通省が写真測量に求める精度）

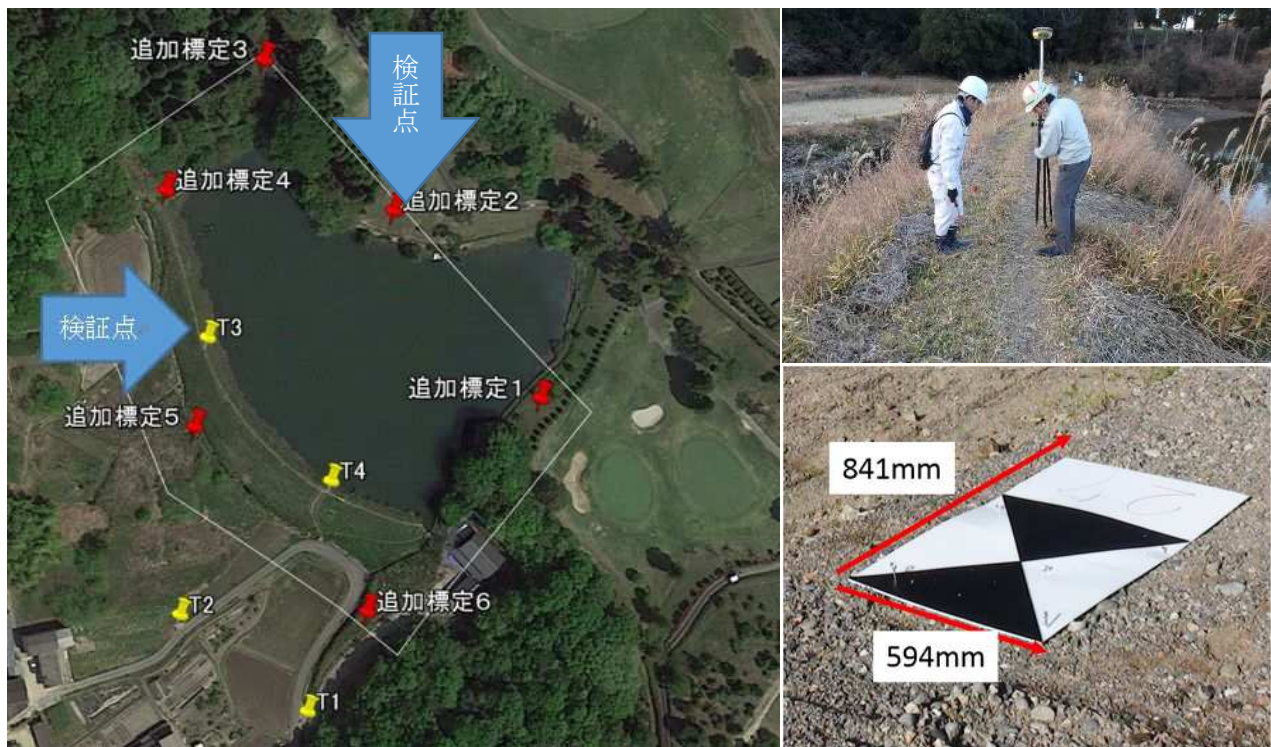


図-2 標定点・検証点配置例

3 計測結果と活用方法

3.1 計測結果

地上レーザー，ドローン1および2の計測結果から作成した点群データを図-3に示す．地上レーザーは地上から固定して計測しているため，堤防両岸や下流に繁茂する木々が表現できている．計測時間を比較すると，ドローンが5～10分程度であるのに対し，地上レーザーは堤防上や堤内地などに機械を据え変えて8箇所程度計測しているため，4時間程度要している．

3.2 3次元メッシュデータ作成

3次元解析に必要なモデルを作成する前に，計測機器

各々の点群データ特性を把握するために，断面を重ね図-4に示す．地上レーザーは草木も計測しており，凹凸があるものの最下面を選ぶと他の計測機器と同様な堤防形状を表現できている．ただ，堤内地の水路部分において地上レーザーは死角になっており，表現できていない．ため池や堤防など，上空から写真計測しても視界を遮断するようなものがない場合は，ドローンによる計測が有効である．

計測した3次元座標を点群データに変換し，不要な点やモデル形状に不要な箇所の除去処理などを施した後に，メッシュデータを生成する．メッシュデータは，地上レーザーによるデータはそのままのデータを用い，ドローンによる場合は，オルソ化された点群データより生成し作成する．

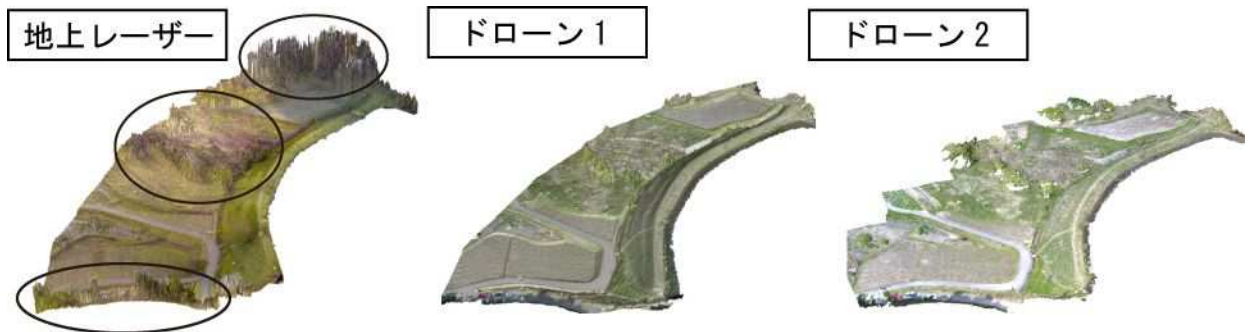


図-3 点群データ比較

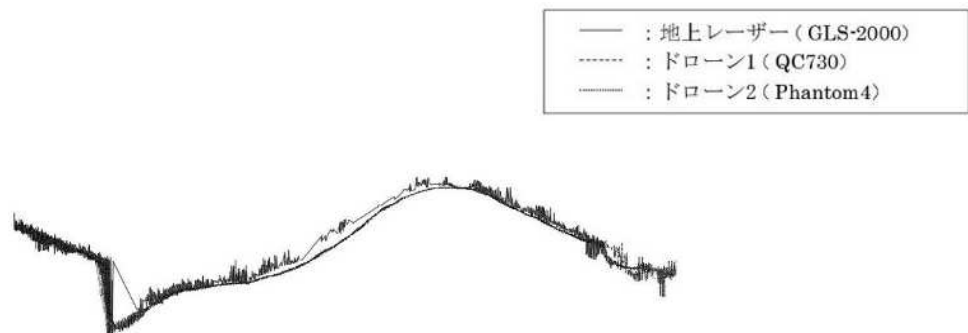


図-4 断面重ね図

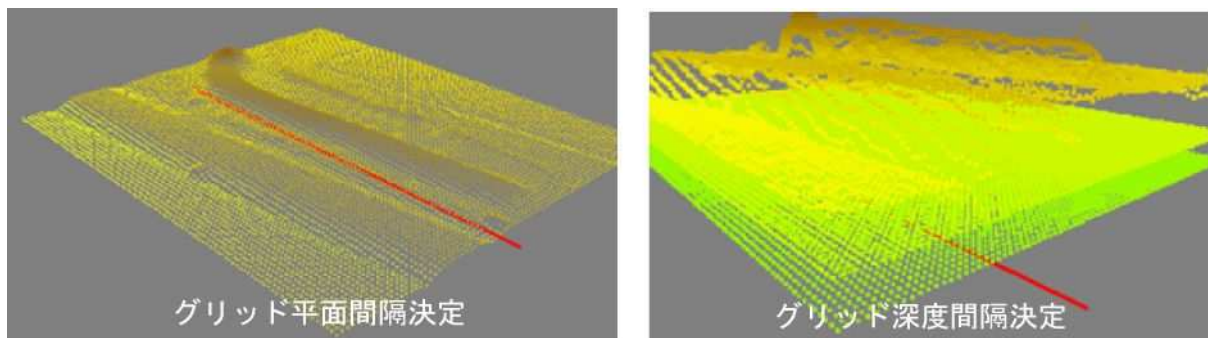


図-5 要素（グリッド）間隔生成イメージ

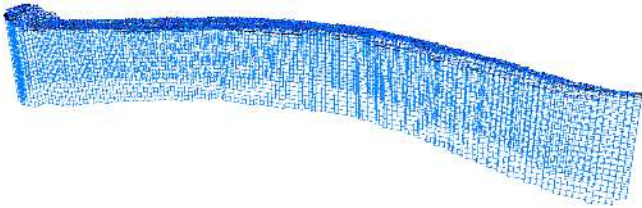


図 - 6 3次元有限要素モデル

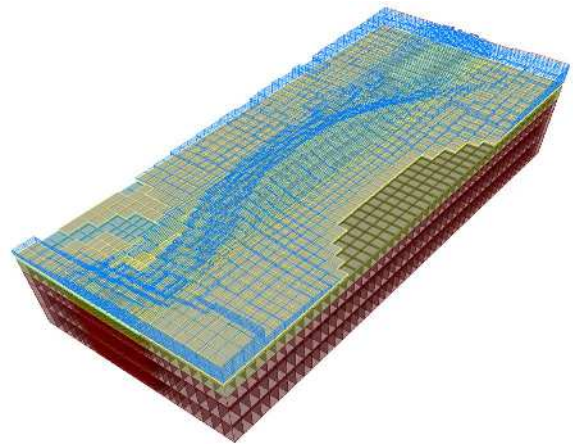


図 - 7 拡張された有限要素モデル

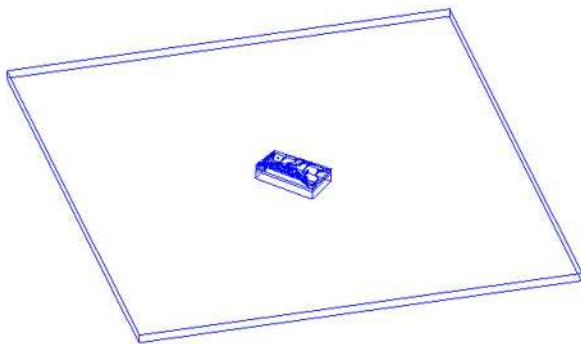


図 - 8 地震応答解析用の境界の拡張

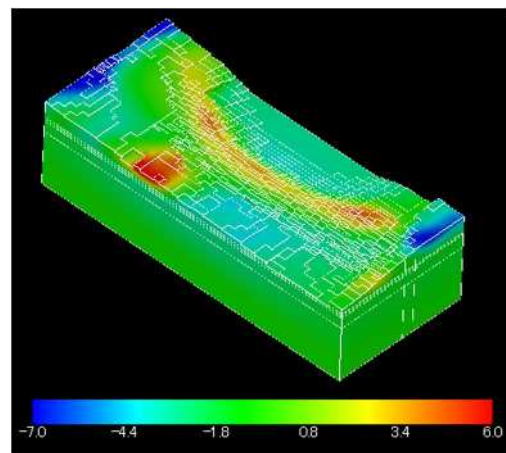


図 - 9 解析結果（加速度分布）

3.3 有限要素モデルの作成

作成されたメッシュデータより，FEM解析などに必要な要素の元となるグリッドを作成する．グリッドには今回検討する堤防であれば，堤防線などの基準線を引き，図 - 5に示すとおり，要素に必要なグリッド間隔および震度を決定する．生成したグリッドから，図 - 6に示す3次元有限要素モデルの構築が短時間で自動に作成できる．

3.4 有限要素法による解析

実際に有限要素解析に本手法を適用する場合，有限要素モデルの境界条件を拡張する必要がある．有限要素解析用にモデルを拡張した例を図 - 7に示す．さらに，地震応答解析には，境界条件を実際の解析領域（図 - 7）の50倍程度に拡張しておく必要がある．拡張した結果を図 - 8に示す．

このモデルを用いた耐震解析結果の一部を図 - 9に与える．図は，地震による加速度分布を表している．この解

析では，堤防の天端部分の加速度が大きくなるのが分かる．

4 まとめ

本研究で得られた成果は，3次元解有限要素解析モデル作成に際して，広範囲を短時間に計測できるドローンを利用することが有効であると実証できたことである．本報告では，3次元地震応答解析用の有限要素モデル化と地震応答解析結果を示した．

今後は，さらに解析の対象を広げ，3次元浸透流解析など，地震応答解析以外の解析にも適用範囲を広げていく予定である．

謝辞：本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費（課題番号：16H02577）の援助によって実施されたものである．